

# SCANNING MECHANISM AND DRIVING METHOD THEREFOR

**Patent number:** JP6267122 (A)

**Publication date:** 1994-09-22

**Inventor(s):** KAWAGISHI HIDEYUKI; EGUCHI TAKESHI

**Applicant(s):** CANON KK

**Classification:**

**- international:** G01B7/34; G01N13/12; G01N37/00; G11B9/00; G11B9/14; H01J37/28; G01B7/34; G01N13/10; G01N37/00; G11B9/00; H01J37/28; (IPC1-7): G11B9/00; G01B7/34; H01J37/28

**- european:**

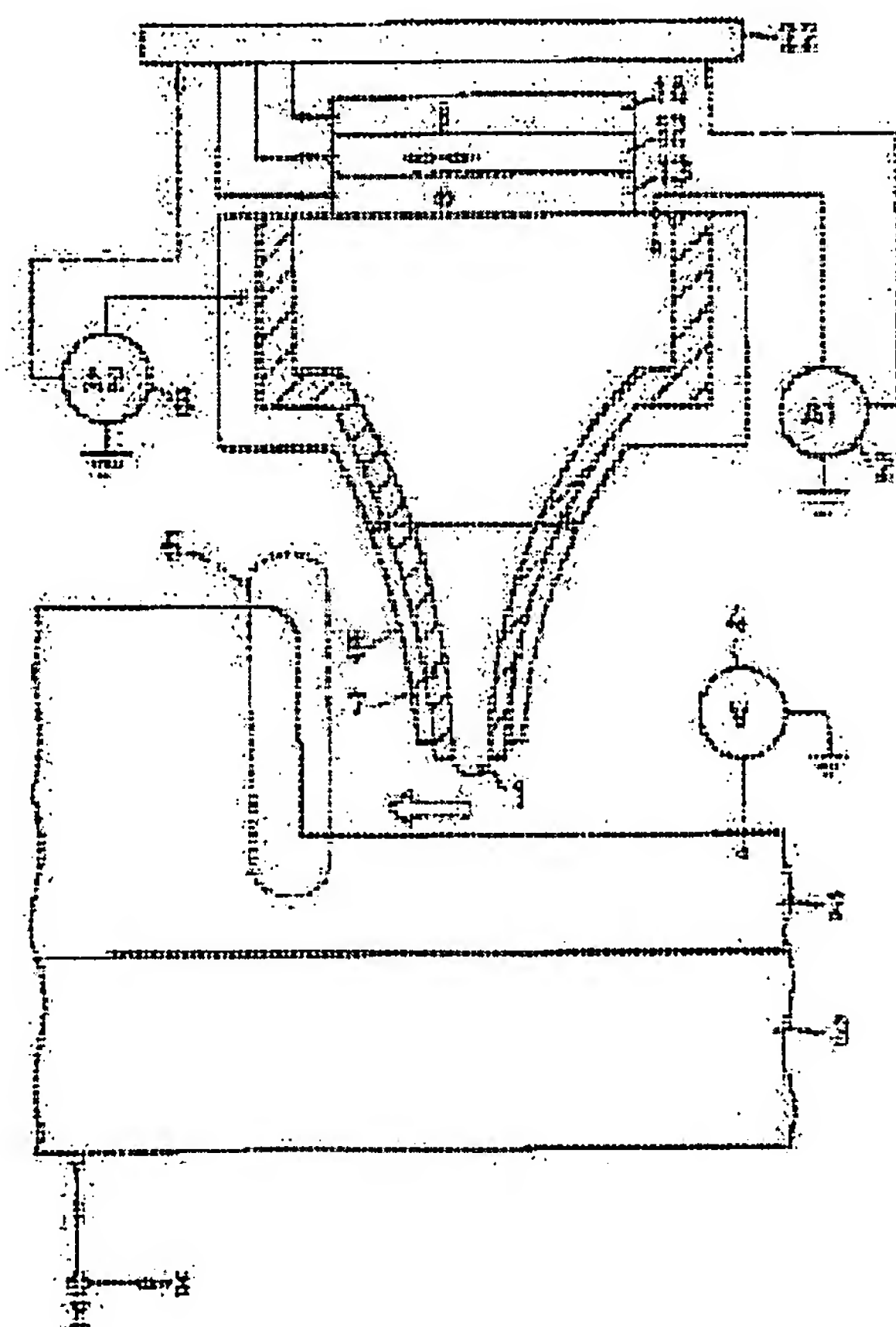
**Application number:** JP19930078526 19930315

**Priority number(s):** JP19930078526 19930315

## Abstract of JP 6267122 (A)

**PURPOSE:** To prevent a probe from colliding with the wall of a step end and the damage of the probe and the surface of a sample by providing the probe having an auxiliary electrode for detecting the step end of the surface of the sample and controlling the drive of the probe based on the information of the step end detected by the auxiliary electrode.

**CONSTITUTION:** An auxiliary electrode 5 for detecting a step end 6 is arranged on the side surface of a probe near the tip of the probe 1 through an insulation layer 7. A voltage is applied between the probe 1 and a sample electrode 2 by means of a voltage applying means 4. Piezo elements 12, 13 relatively scan the probe 1 along the surface of the sample electrode 2 and a piezo element 14 is a moving means in the direction perpendicular to the surface of the electrode 2. A tunneling currents flowing through the electrode 5 and between the electrode 5 and the electrode 2 are detected by means of a tunneling current detecting means 8. By detecting the step end 6 and controlling driving voltages applied on driving means 12-14 by means of the detected current, the scan in the XZ directions and the movement in Y direction of the probe 1 are controlled and the collision of the probe 1 with the step end 6 is prevented.



Data supplied from the esp@cenet database — Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-267122

(43)公開日 平成6年(1994)9月22日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 1 1 B 9/00		9075-5D		
G 0 1 B 7/34	Z	9106-2F		
H 0 1 J 37/28	Z			

審査請求 未請求 請求項の数4 F D (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平5-78526

(22)出願日 平成5年(1993)3月15日

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 河岸 秀行

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

(72)発明者 江口 健

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

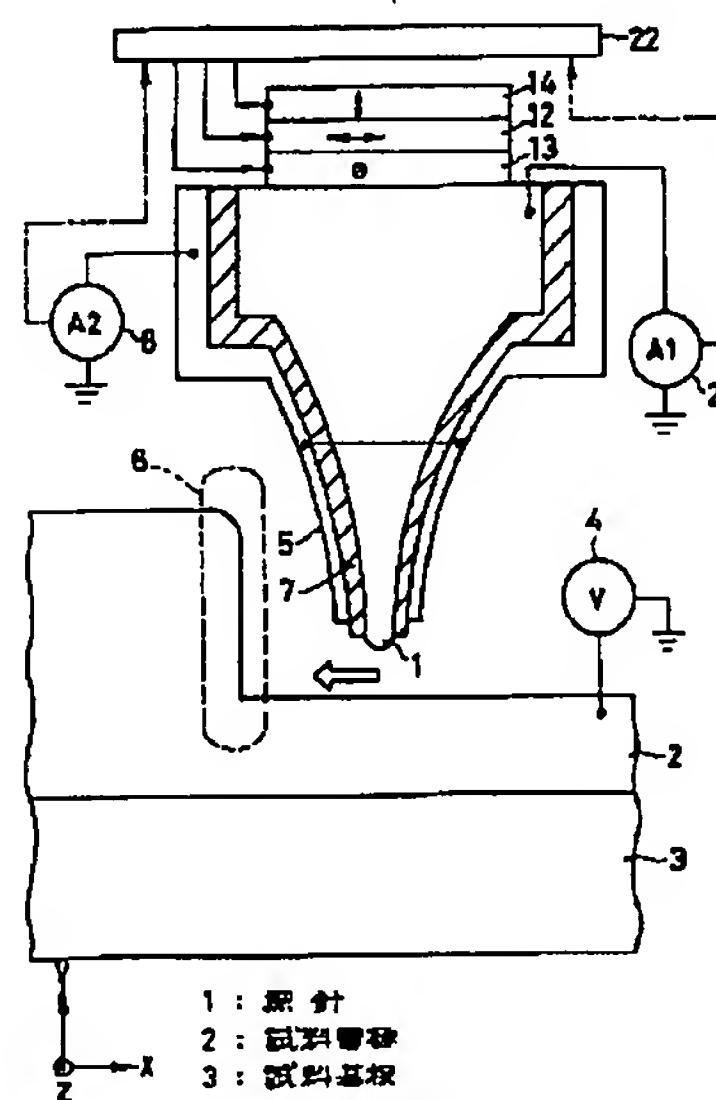
(74)代理人 弁理士 豊田 善雄 (外1名)

(54)【発明の名称】 走査機構及びその駆動方法

(57)【要約】

【目的】 走査型顕微鏡やその原理を応用した情報処理装置に用いられ、探針や試料表面の損傷を防止できる走査機構を提供する。

【構成】 導電性の探針1の側面に絶縁層7を介して、試料表面のステップ端6を検知するための補助電極5が配置されており、電圧印加手段4により探針1と試料間に電圧を印加し、それらの間に流れるトンネル電流を検出しながら試料表面を走査する走査機構。



- 1 : 探針
- 2 : 試料表面
- 3 : 試料基板
- 4 : 電圧印加手段
- 5 : 補助電極
- 6 : ステップ端
- 7 : 絶縁層
- 8 : トンネル電流検知手段
- 12 : X方向駆動ピエゾ素子
- 13 : Z方向駆動ピエゾ素子
- 14 : Y方向駆動ピエゾ素子
- 21 : トンネル電流検知手段
- 22 : 制御装置

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 試料に近接配置した導電性の探針を該試料表面に沿って相対的に走査すると共に、該試料と該探針間に電圧を印加し、それらの間の距離に依存する相互作用を検出する走査型顕微鏡の技術を利用した装置の走査機構において、試料表面のステップ端を検知する補助電極を具備した探針を有することを特徴とする走査機構。

【請求項2】 前記補助電極が、前記探針の先端近傍の探針側面に絶縁層を介して配置され、かつ該補助電極と試料間に流れるトンネル電流を検知する手段を有することを特徴とする請求項1に記載の走査機構。

【請求項3】 前記補助電極が、前記探針の先端近傍の探針側面に絶縁層を介して配置されている分割補助電極からなり、かつ各分割補助電極と試料間に流れるトンネル電流を検知する手段と該検知されるトンネル電流を互いに比較する手段を有することを特徴とする請求項1に記載の走査機構。

【請求項4】 請求項1～3いずれかに記載の走査機構の駆動方法であって、前記補助電極により検知したステップ端の情報に基づき、前記探針の駆動を制御することを特徴とする駆動方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、走査機構、特に走査型顕微鏡やその原理を応用した情報処理装置等に用いられる走査機構及びその駆動方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、導体の電子構造を直接観察できる走査型トンネル顕微鏡（以後、STMと略す）が開発され[G. Binnig et al., Phys. Rev. Lett., 49, 57 (1982)], 単結晶、非晶質を問わず、実空間像の高い分解能の測定ができるようになった。

【0003】 STMは、金属の探針（プローブ）と導電性物質間に電圧を加えて1nm程度の距離まで近づけるとトンネル電流が流れることを利用している。この電流は両者の距離変化に非常に敏感である。トンネル電流を一定に保つように探針を走査することにより実空間の全電子雲に関する種々の情報をも読み取ることができる。

【0004】 従って、STMの原理を応用すれば十分に原子オーダー（サブナノメートル）での高密度記録再生を行うことが可能である。例えば、特開昭61-80536号に開示されている記録再生装置では、電子ビーム等によって媒体表面に吸着した原子粒子を取り除き書き込みを行い、STMによりこのデータを再生している。

【0005】 記録層として電圧電流のスイッチング特性に対してメモリ効果を持つ材料、例えば、パイ電子系有機化合物やカルコゲン化合物類の薄膜を用いて、記録・再生をSTMで行なう方法が提案されている（特開昭6

3-161552号広報、特開昭63-161553号広報）。この方法によれば、記録のビットサイズを10nmとすれば、1 Tera bit/cm<sup>2</sup>もの大容量記録再生が可能である。

【0006】 前記プローブの形成手法として半導体製造プロセス技術を用い、1つの基板上に微細な構造を作る加工技術（K. E. Peterson, "Silicon as a Mechanical Material", Proceeding of IEEE, 70巻, 420頁, 1982年）を利用し、かかる手法により構成したSTMが特開昭61-206148号広報に提案されている。

【0007】 また、特開昭62-281138号広報には前記特開昭61-206148号広報に開示されたものと同様の舌状部をマルチに配置したアレイを備えた記録装置が記載されている。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】 上述従来例の走査型顕微鏡、及び、走査型顕微鏡の原理を用いたメモリ装置等に用いられる従来の走査機構では、試料表面に深いステップ端が存在する場合、

①探針が凸型のステップ端の壁に接近する時にステップ端の壁に探針がぶつかって、探針や試料表面が損傷するおそれがあること

②探針が凹型のステップ端の上空を通過する時にトンネル電流が突然流れなくなり、探針が試料表面から大きく離れた状態でフィードバック制御が効かなくなったり、突然、下方向への大きな制御電圧がピエゾ素子に印加されて、結局、探針が試料表面に激突し、探針や試料表面が損傷するおそれがあること

といった問題点が存在した。

【0009】 よって、本発明の目的は、上記問題点を解決し、試料表面に深いステップ端が存在する場合にも、探針や試料表面が損傷することが防止できる走査機構及びその駆動方法を提供することにある。ただし、ここでステップ端とは、凹凸変化の存在する表面部位一般を示すものとする。

## 【0010】

【課題を解決するための手段及び作用】 上記目的を達成するために成された本発明は、第一に、試料に近接配置した導電性の探針を該試料表面に沿って相対的に走査すると共に、該試料と該探針間に電圧を印加し、それらの間の距離に依存する相互作用を検出する走査型顕微鏡の技術を利用した装置の走査機構において、試料表面のステップ端を検知する補助電極を具備した探針を有することを特徴とする走査機構であり、第二に、前記補助電極が、前記探針の先端近傍の探針側面に絶縁層を介して配置され、かつ該補助電極と試料間に流れるトンネル電流を検知する手段を有することを特徴とする上記第一の走査機構であり、第三に、前記補助電極が、前記探針の先



端近傍の探針側面に絶縁層を介して配置されている分割補助電極からなり、かつ各分割補助電極と試料間に流れるトンネル電流を検知する手段と該検知されるトンネル電流を互いに比較する手段を有することを特徴とする上記第一の走査機構であり、第四に、上記第一～第三いずれかの走査機構の駆動方法であって、前記補助電極により検知したステップ端の情報に基づき、前記探針の駆動を制御することを特徴とする駆動方法である。

【0011】本発明に係る技術的背景の理解を助けるために、本発明に係る補助電極を備えない従来の探針で試料表面の凹凸状態を観察する場合について先に説明する。

【0012】図5は従来の探針51が試料表面のステップ52に接近したときの状態を示しており、図5(a), (c)は電圧分布を、図5(b), (d)は電界強度分布をそれぞれ表している。尚、図5(a), (b)は探針51とステップ52壁との距離が8nmの場合であり、図5(c), (d)は13nmの場合である。

【0013】これらの図において、探針51の電位を1.0V、試料側電位を0Vとしており、 $Y=0$  (X軸上)は試料のステップ52以外の平滑な表面を表している。

【0014】ここで、試料・探針間に流れるトンネル電流は、電界強度の峰線に沿って、非常に細かい電子ビームとして流れると考えられる。いま、図5(b)のごとく、探針51がステップ52壁に近づきはじめると、探針51側面とステップ52との間に生じる電界強度の峰線に沿ったトンネル電流が検知されるようになる。しかし、探針51では、ステップ52への電流とそれ以外の表面(注;  $Y=0$ , X軸上)への電流を区別できない。

【0015】そして、探針51とステップ52との間に、ある値以上のトンネル電流が流れる程度まで近づいて初めて、電流一定条件のフィードバック制御機構により、探針51が+Y軸方向に移動するように制御される。

【0016】しかしながら、このような制御が効果をもつのは、

(1) ステップ52の高さが、トンネル電流が流れる距離と同程度の時

(i) 探針51の位置がステップ52の上空となる場合

に限られる。しかるに、探針・試料表面間距離は、トンネル電流が検知できる程度に限られる。このため、現状のSTMでは、トンネル電流が検知できる程度の距離(DTL)よりステップの高さ(h)が大きい時、探針51はステップ52の端部の壁に激突することが予想される。

【0017】以下に、もう少し数式的な説明を試みる。

【0018】トンネル電流が検知出来る程度の距離: DTL (nm)

X-方向のスキャン速度:  $S \times DTL$  (nm/sec)

Y-方向の探針51の最大移動制御速度:  $T \times DTL$  (nm/sec)

ステップ32の高さh:  $K \times DTL$  (nm)

とすると、探針51がステップ52壁にぶつからない条件は概略、

$K \times DTL / (T \times DTL) < DTL / (S \times DTL)$

よって  $T > S \times K$

しかるに、T及びSは、本来、探針を試料表面に沿って相対的に走査する手段であるピエゾ素子等の性能と共振周波数からの制限がある。今、単純化のためにピエゾ素子の性能だけを考えるなら、TとSはピエゾ素子の最大性能から、同程度の値となるだろう。しかし、例えば、DTLの100倍の高さを持つステップ壁に探針がぶつからないようにするためには、X-方向のスキャン速度 [ $S \times DTL$  (nm/sec)] をY方向の最大移動制御速度 [ $T \times DTL$  (nm/sec)] の1/100未満にする必要がある。

【0019】しかしながら、スキャン速度を極端に遅くするのは、実用上好ましくない。とくに、STMの原理を用いたメモリーシステムでは、メモリーへのアクセス速度が著しく低下し、実用的な装置が得られない。また、走査型顕微鏡として、表面観察する場合にも、スキャン速度を極端に遅くすると、観察時間が増加するだけでなく、いわゆる温度ドリフト等により画像が歪み易くなるおそれがある。

【0020】そこで本発明においては、ステップ壁と探針間に流れるトンネル電流と、ステップ壁以外の試料表面と探針間に流れるトンネル電流を個々に検出できるように、探針に補助電極を設けたものである。

【0021】かかる補助電極により検出されるステップ壁と探針間に流れるトンネル電流の変化情報により、探針とステップ壁との相対的な位置関係が得られ、これを基に探針の駆動を制御できる。

【0022】

【実施例】以下、実施例により本発明を詳細に説明する。

【0023】実施例1

図1は本発明の特徴をもっとも良く表す本実施例の走査機構により、試料表面を走査している様子を示したものである。

【0024】同図において、1は探針であり、2は探針1と対向配置した試料電極であり、3は試料基板であり、6は試料電極表面のステップ端の例であり、5はステップ端6を検知するための補助電極である。補助電極5は探針1の先端近くの探針側面に、絶縁層7を介して配置されている。また、4は探針1と試料電極2間に電圧を印加する手段であり、8は補助電極5と試料電極2

間に流れるトンネル電流を検知する手段であり、21は探針1と試料電極2間の距離に依存する各種の相互作用(トンネル電流や電界放射電流等)を検出する手段であり、本実施例では探針1と試料電極2間に流れるトンネル電流を検知する手段である。

【0025】12及び13は探針1を試料電極2の表面に沿って相対的に走査する手段であるところのピエゾ素子であり、試料表面に略平行な平面であるところのX-Z平面に対して各々、X方向及びZ方向の走査手段である。また、14は上記X-Z平面に垂直なY方向の移動手段であるところのピエゾ素子である。

【0026】また、22はシステム全体を制御する制御装置であり、マイクロコンピュータ及びピエゾ素子12~14駆動回路、フィルター回路を内蔵している。

【0027】本実施例においては、補助電極5及び該補助電極5と試料電極2間に流れるトンネル電流を検知する手段8により検知したステップ端6の情報に基づいて、XZ方向の走査及びY方向の移動を行うところの駆動手段12~14に印加する駆動電圧を制御することにより探針1の駆動制御を行い、探針1がステップ端6にぶつかるのを防ぎ、探針や試料表面が損傷することを防止するものである。

【0028】次に、本実施例における走査機構の駆動方法を説明する。

【0029】図2は走査機構の駆動法を示すタイムチャートであり、横軸tは時間軸を示す。同図は探針1がステップ端6の壁に接近し、通過する場合を例としたタイムチャートである。

【0030】同図(a)は制御モードが異なる期間(201)~(204)の時間区分を示し、同図(b)はトンネル電流検知手段21によって検知される探針1と試料電極2間に流れるトンネル電流A1の絶対値の対数を示し、同図(c)はトンネル電流検知手段8によって検知される補助電極5と試料電極2間に流れるトンネル電流A2の絶対値の対数を示している。

【0031】また、同図(d)は試料表面に略平行な探針1の移動量(この場合はX方向の移動量)を制御するピエゾ素子12に印加する制御電圧 $V_x$ を示し、同図(e)は試料表面に略垂直な方向(Y方向)の探針1の移動量を制御するピエゾ素子14に印加する制御電圧 $V_y$ を示している。

【0032】また、同図において、t0はスタート時刻、t1は探針1がステップ端6の壁に接近し、補助電極5よ試料電極2間に流れるトンネル電流がA2が、増加しはじめる時刻、t2は探針1がステップ端6の壁に更に接近し、同図(b)に示した $\text{LOG}|A_2|$ が、ある設定値G1になった時の時刻である。

【0033】ゆえに、期間201は、

$$t_0 \leq t \leq t_2$$

なる期間である。この期間では試料表面に略垂直な方向

(Y方向)の探針1の移動量を制御するピエゾ素子14に印加する制御電圧 $V_y$ は、 $\text{LOG}|A_1|$ とA1の目標値A1Mの差D1に基づいて、誤差D1ができるだけ小さくなるようにフィードバック制御されるものとする。

【0034】ここでは、説明をわかりやすくするために、ステップ6以外は平坦な表面とし、ピエゾ素子12の移動方向と試料電極2表面の平坦部及びX軸が完全に平行と仮定する。このとき、期間201で $V_x$ の増加により、探針1がステップ端6の壁に接近する方向に移動するが、 $\text{LOG}|A_1|$ は変化せず、 $V_y$ は図示したごとく、ほぼ一定となる。

【0035】また、同図において、t3は $\text{LOG}|A_2|$ が再び微小な値にもどる時刻である。ゆえに、期間202は、

$$t_2 \leq t \leq t_3$$

なる期間である。この期間では、試料表面に略平行な探針1の移動量、特にX方向の移動量を制御するピエゾ素子12に印加する制御電圧 $V_x$ は一定値に保持され、探針1が試料電極2表面に激突することが防止される。また、この期間では、 $\text{LOG}|A_1|$ に基づいた制御は中断され、同図(e)に図示したごとく、 $\text{LOG}|A_2|$ が微量になるまで、試料表面に略垂直な方向(Y方向)の制御電圧 $V_y$ が、探針1が試料電極2表面から離れる方向に変化させられる。このとき、 $\text{LOG}|A_1|$ は一般的に同図(b)のごとく小さな値となる。

【0036】また、同図において、t4は $\text{LOG}|A_1|$ が再び目標値A1Mにもどる時刻である。ゆえに、期間203は、

$$t_3 \leq t \leq t_4$$

なる期間である。この期間では、 $\text{LOG}|A_1|$ に基づいたフィードバック制御は、まだ中断されているものの、 $\text{LOG}|A_1|$ がモニターされ、 $\text{LOG}|A_1|$ が再び目標値A1Mにもどるまで、制御電圧 $V_x$ が増加して、探針1がステップ端6の上部をステップ端6壁に激突することなく通過しようとする状態になる。

【0037】また、同図において、t5は走査が終了する時刻である。ゆえに、期間204は、

$$t_4 \leq t \leq t_5$$

なる期間である。この期間では期間201と同様に、試料表面に略垂直な方向(Y方向)の探針1の移動量を制御するピエゾ素子14に印加する制御電圧 $V_y$ は、 $\text{LOG}|A_1|$ とA1の目標値A1Mの差D1に基づいて、誤差D1ができるだけ小さくなるようにフィードバック制御されるものとする。

【0038】以上のごとくして、ステップ端6の壁が高い場合にも、探針が凸型のステップ端の壁に接近する時に、ステップ端の壁に探針がぶつかるのを防止でき、探針や試料表面が損傷することが防止された。

【0039】実施例2



図3は本実施例の走査機構により、試料表面を走査している様子を示したものである。

【0040】同図において図1と同一符号のものは同一部材を示しており、5A、5Bはステップ端6を検知するための2分割補助電極である。分割補助電極5A、5Bは探針1の先端近くの探針側面に各々絶縁層7A、7Bを介して配置されている。また、8A、8Bは分割補助電極5A、5Bと試料電極2間に流れるトンネル電流を検知する手段であり、31はトンネル電流検知手段8A、8Bにより検知されるトンネル電流を互いに比較する手段である。

【0041】本実施例においては、分割補助電極5A、5B及び該分割補助電極5A、5Bと試料電極2間に流れるトンネル電流を検知する手段8A、8Bにより検知したトンネル電流A2A、A2Bを、該トンネル電流を比較する手段31で比較することにより、探針位置の左右の非対称性を感知し、ステップ端6を検知し、該検知情報に基づいて、XZ方向の走査及びY方向の移動を行うところの駆動手段12~14に付加する駆動電圧を制御することにより探針1の駆動制御を行い、探針1がステップ端6にぶつかるのを防ぎ、探針や試料表面が損傷することを防止するものである。

【0042】次に、本実施例における走査機構の駆動方法を説明する。

【0043】図5は走査機構の駆動法を示すタイムチャートであり、横軸tは時間軸を示す。同図は探針1がX方向に移動し、ステップ端6の上空を通過する場合を例としたタイムチャートである。

【0044】同図(a)は制御モードが異なる期間(301)~(304)の時間区分を示し、同図(c)はトンネル電流検知手段21によって検知される探針1と試料電極2間に流れるトンネル電流A1の絶対値の対数を示し、同図(b)、(d)はトンネル電流検知手段8B、8Aによって検知される分割補助電極5B、5Aと試料電極2間に流れるトンネル電流A2B、A2Aの絶対値の対数を示している。

【0045】同図(g)は比較手段31により検知される比較値DDCB= $\text{LOG}|A2B| - \text{LOG}|A2A|$ なる値を示し、同図(e)は試料表面に略平行な探針1の移動量(この場合はX方向の移動量)を制御するピエゾ素子12に印加する制御電圧V<sub>r</sub>を示し、同図(f)は試料表面に略垂直な方向(Y方向)の探針1の移動量を制御するピエゾ素子14に印加する制御電圧V<sub>r</sub>を示している。

【0046】また、同図において、t7はスタート時刻、t8は探針1がステップ端6にやや接近し、スキャン方向前方に位置する一方の分割補助電極5Bがステップ端6の上空を通過し、試料電極2との距離が増加しはじめるために、分割補助電極5Bと試料電極2間に流れるトンネル電流A2Bが減少しはじめる時刻である。

【0047】ゆえに、期間301は、 $t7 \leq t \leq t8$

なる期間である。この期間では、試料表面に略垂直な方向(Y方向)の探針1の移動量を制御するピエゾ素子14に印加する制御電圧V<sub>r</sub>は、 $\text{LOG}|A1|$ とA1の目標値A1Mの差D1に基づいて、誤差D1ができるだけ小さくなるようにフィードバック制御されるものとする。

【0048】ここでは、説明をわかりやすくするためにステップ6以外は平坦な表面とし、ピエゾ素子12の移動方向と試料電極2表面の平坦部及びX軸が完全に平行と仮定する。このとき、期間301で、V<sub>r</sub>の減少により探針1がステップ端6上空に接近する方向に移動するが、 $\text{LOG}|A1|$ は変化せず、V<sub>r</sub>は図示したごとく、ほぼ一定となる。

【0049】また、スキャン方向後方に位置する他方の分割補助電極5Aは、まだ平坦部上にあるため、 $\text{LOG}|A2A|$ は変化しない。このことより、比較値DDCBは変化し、各分割補助電極と5A、5Bと試料電極2を流れる電流に非対称性が生じていることが検知される。

【0050】また、同図において、t9は探針1がステップ端6の上空を通過し、試料電極2との距離が増加しはじめるために、探針1と試料電極2間に流れるトンネル電流A1が減少しはじめる時刻を示しており、t10はスキャン方向後方に位置する他方の分割補助電極5Aがステップ端6の上空を通過し、試料電極2との距離が増加しはじめるために、分割補助電極5Aと試料電極2間に流れるトンネル電流A2Aが減少しはじめる時刻である。t11は分割補助電極5Bがステップ端6から離れ、 $\text{LOG}|A2B|$ が最小値に飽和した時刻であり、t12は分割補助電極5Aがステップ端6から離れ、 $\text{LOG}|A2A|$ が最小値に飽和した時刻である。また、t12は比較値DDCBが微小な値となる時刻でもある。

【0051】ゆえに、期間302は、 $t8 \leq t \leq t12$

なる期間である。この期間では、試料表面に略平行な探針1の移動量、特にX方向の移動量を制御するピエゾ素子12に印加する制御電圧V<sub>r</sub>は、減少し続けるが、 $\text{LOG}|A1|$ に基づいたフィードバック制御は中断され、|DDCB|が微小量になる時刻t12がモニターされるまで、試料表面に略垂直な方向(Y方向)の制御電圧V<sub>r</sub>が一定に保たれる。このとき、 $\text{LOG}|A1|$ は一般的に同図(c)のごとく小さな値となる。

【0052】また、同図において、t13は $\text{LOG}|A1|$ が再び目標値A1Mにもどる時刻である。ゆえに、期間303は、

$t12 \leq t \leq t13$

なる期間である。この期間では、 $\text{LOG}|A1|$ に基づ

いたフィードバック制御は、まだ中断されているものの、 $\text{LOG}|A1|$ がモニターされ、 $\text{LOG}|A1|$ が再び目標値 $A1M$ にもどるまで、制御電圧 $V_f$ は一定に保たれると共に制御電圧 $V_f$ が減少して、探針1がステップ端6の右側領域の表面に激突することなく、X軸に平行な表面に探針1が接近した状態となる。

【0053】また、同図において、 $t14$ は走査が終了する時刻である。ゆえに、期間304は、

$$t13 \leq t \leq t14$$

なる期間である。この期間では、期間301と同様に、試料表面に略垂直な方向(Y方向)の探針1の移動量を制御するピエゾ素子14に印加する制御電圧 $V_f$ は、 $\text{LOG}|A1|$ と $A1$ の目標値 $A1M$ の差 $D1$ に基づいて、誤差 $D1$ ができるだけ小さくなるようにフィードバック制御されるものとする。

【0054】以上のごとくして、ステップ端6の壁が高い場合にも、探針が凹型のステップ端の上空を通過する時に、トンネル電流が突然流れなくなり、探針が試料表面から大きく離れた状態でフィードバック制御が効かなくなったり、突然、下方向への大きな制御電圧がピエゾ素子に印加されて、結局、探針が試料表面に激突したりするのを防止でき、探針や試料表面が損傷することが防止された。

【0055】本実施例では補助電極をX方向で2分割した分割補助電極で説明したが、Y方向にも2分割(全体で4分割)した分割補助電極とすることにより、試料の面内方向の2次元走査において上記と同様の方法により、良好な駆動が可能である。

【0056】尚、実施例1においては凸型のステップ端の壁に接近した場合を、また本実施例においては凹型のステップ端の上空を通過する場合を例に挙げてその具体的な駆動方法を説明したが、本発明のいずれの走査機構も、その詳細な駆動方法は若干異なるものの、凸型あるいは凹型のステップ端に接近した場合に探針を試料表面に激突させることなく駆動でき、かつ、フィードバック制御可能である。

【0057】

【発明の効果】以上説明したごとく、本発明により試料表面のステップ端を検知する補助電極を具備した探針を有し該補助電極により検知したステップ端の情報に基づ

いて、前記探針の駆動を制御することにより、試料表面に深い(高い)ステップ端が存在する場合にも、

①探針が凸型のステップ端の壁に接近する時に、ステップ端の壁に探針がぶつかるのを防止でき、探針や試料表面が損傷するのを防止できる。

【0058】②探針が凹型のステップ端の上空を通過する時に、トンネル電流が突然流れなくなり、探針が試料表面から大きく離れた状態でフィードバック制御が効かなくなったり、突然、下方向への大きな制御電圧が駆動素子に印加されて、結局、探針が表面に激突したりするのを防止でき、探針や表面が損傷するのを防止できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係る走査機構により試料表面を走査している様子を示す縦断面図である。

【図2】本発明の走査機構の駆動方法の一例を示すタイムチャートである。

【図3】本発明の一実施例に係る走査機構により試料表面を走査している様子を示す縦断面図である。

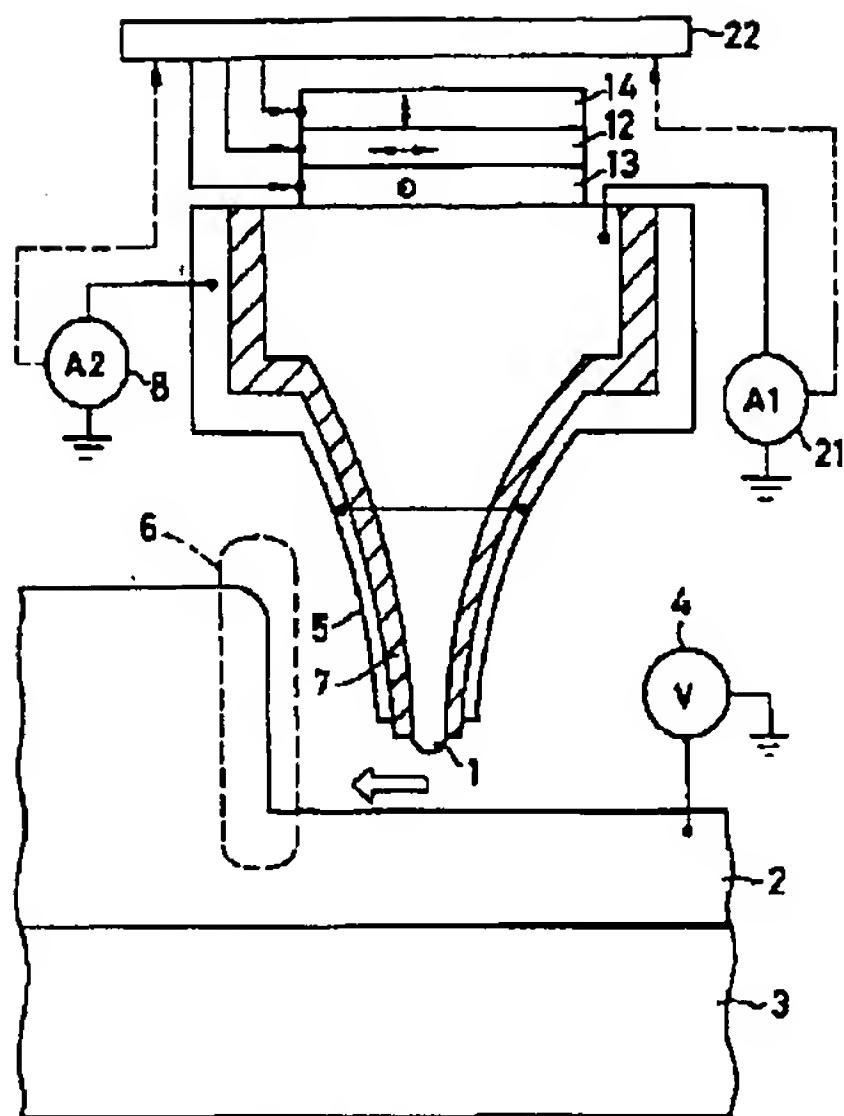
【図4】本発明の走査機構の駆動方法の一例を示すタイムチャートである。

【図5】従来型の探針を用いた駆動状態を示す図である。

【符号の説明】

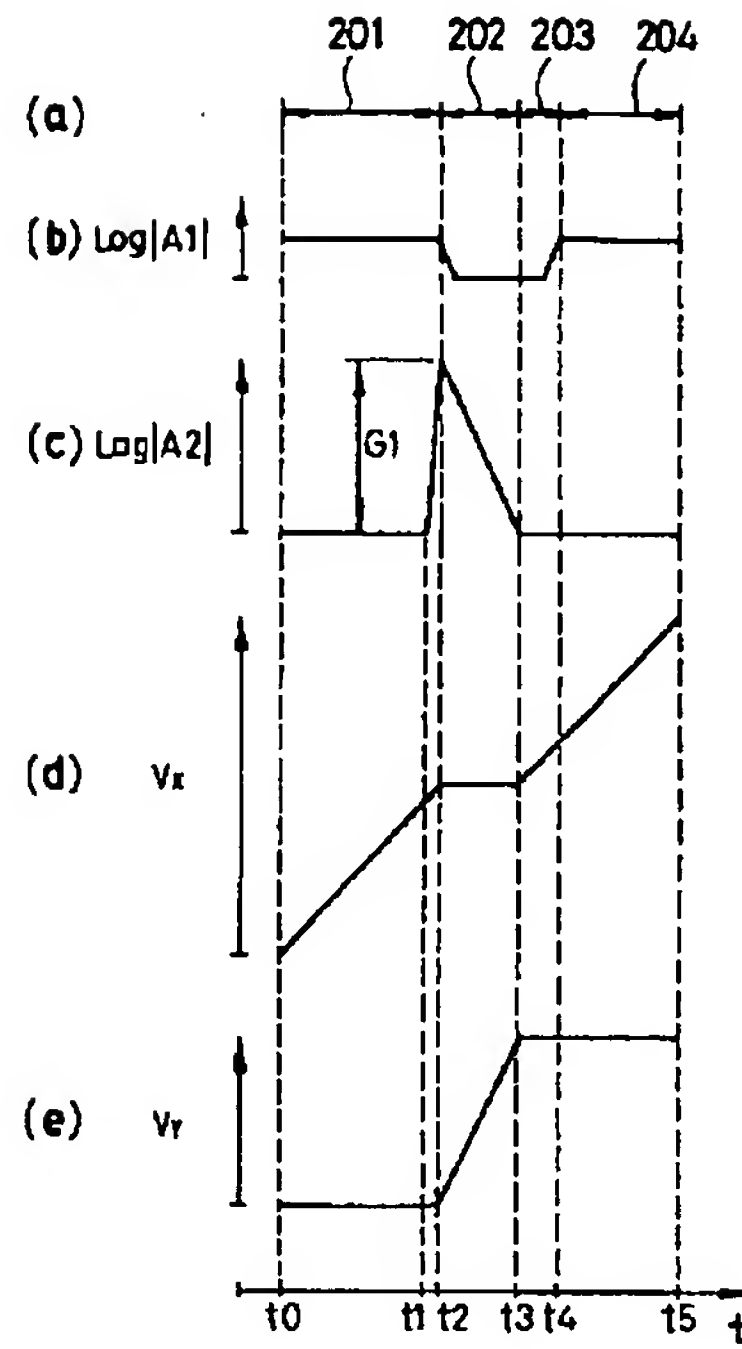
- 1 探針
- 2 試料電極
- 3 試料基板
- 4 電圧印加手段
- 5 補助電極
- 5A, 5B 分割補助電極
- 6 ステップ端
- 7, 7A, 7B 絶縁層
- 8, 8A, 8B トンネル電流検出手段
- 12 X方向駆動素子
- 13 Z方向駆動素子
- 14 Y方向駆動素子
- 21 トンネル電流検出手段
- 22 制御装置
- 31 比較手段
- 51 探針
- 52 ステップ端

【図1】

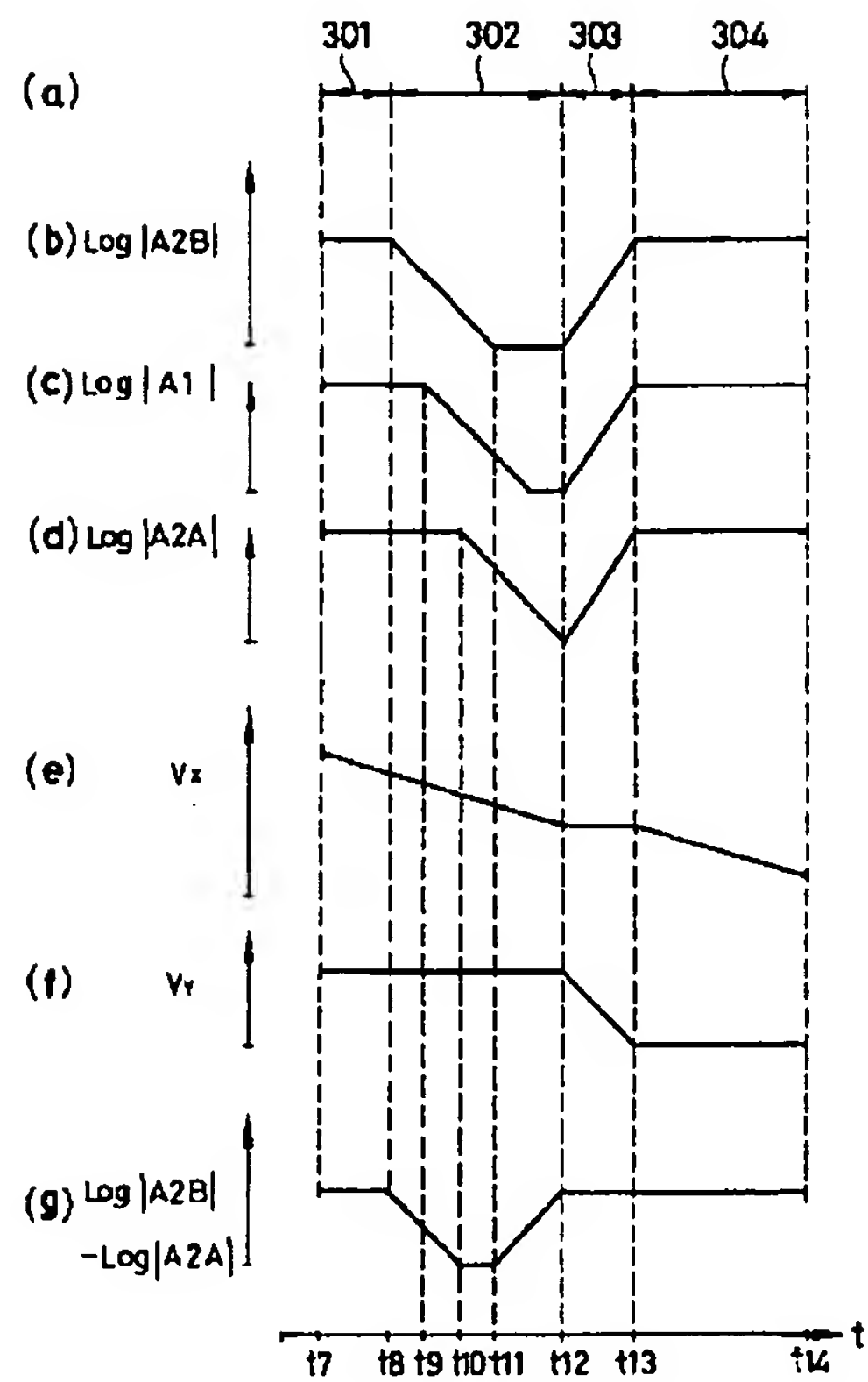


- 1: 探針  
2: 試料電極  
3: 試料基板  
4: 電圧印加手段  
5: 補助電極  
6: ステップ端  
7: 絶縁層  
8: トンネル電流検知手段  
12: X方向駆動ピエゾ素子  
13: Z方向駆動ピエゾ素子  
14: Y方向駆動ピエゾ素子  
21: トンネル電流検知手段  
22: 制御装置

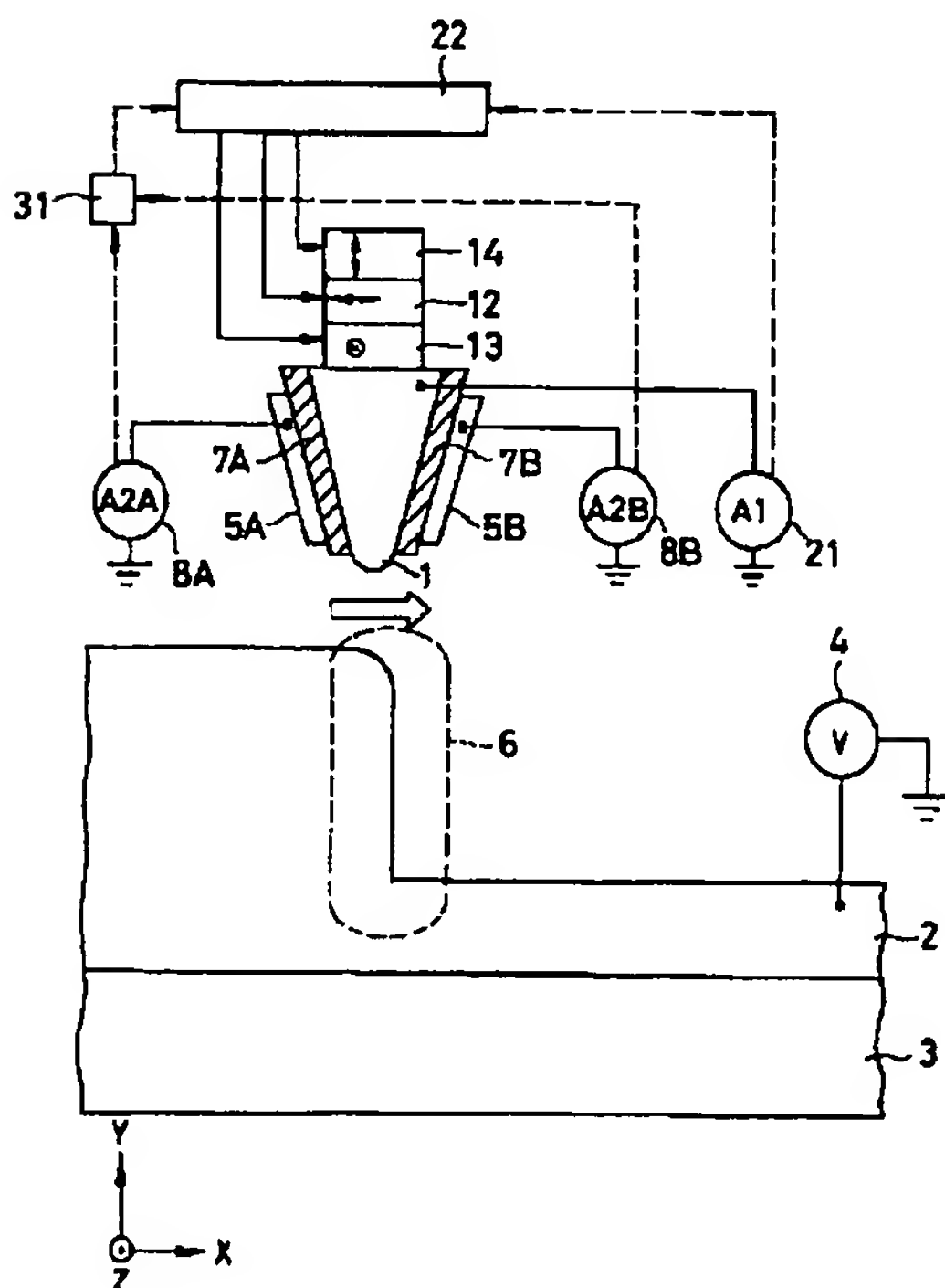
【図2】



【図4】



【図3】





【図5】

